

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25287112

研究課題名(和文) 巨大海台衝突に伴う北部琉球弧のプレート間固着の研究

研究課題名(英文) Study of interplate coupling with collision giant Amami plateau around Ryokyu arc

研究代表者

古本 宗充 (FURUMOTO, Muneyoshi)

名古屋大学・環境学研究科・名誉教授

研究者番号：80109264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：背弧拡大を伴う沈み込み帯では、海洋プレートの沈み込みに伴う地殻変動と背弧拡大に伴う地殻変動の両方が観測される。これらの地殻変動を分離するために横当島でのGNSS観測および、喜界島内における水準測量を実施し、プレートの固着状況および、喜界島の傾動方向と速度を得た。一方、海岸段丘の地質学的調査において、島の北端の最高位段丘の年代が約6,000年前と見積もることができた。これらの測量、および調査等を2次元有限要素法を用いてモデル化した結果、喜界島の長期的な隆起はプレート境界の形状の起伏に起因し、上下変動の時間発展にはマンテルウェッジの粘弾性構造の影響が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In the subduction zone with back-arc expansion, crustal deformation was observed both effects due to the subducted oceanic plate and expansion of back-arc. In order to identify each component of crustal deformations, we carry out GNSS observation at Yoktoshima and leveling survey in Kikaijima island. As result, we obtain the spatial distribution of interplate coupling and tilt vector at the kikai island. In addition, we estimate 6000 BP at highest marine terrace in north region of Kikaijima island by the geological survey. As a result of modeling for the survey result and the occurrence interval of the past earthquakes using two dimensional finite element method, we obtain that the long-term uplift at kikai-jima is explained by by the geometry of subduction plate. In order to understand the time evolution of vertical deformation, we reveal that the viscoelastic structure at the mantle wedge have important role.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：地殻変動・海底変動 テクトニクス 超巨大地震 海岸段丘

### 1. 研究開始当初の背景

西日本の九州地方南西部に位置する南西諸島の下には、フィリピン海プレートが琉球海溝の東側から沈み込み、南西諸島の西側に位置する沖縄トラフでは背弧拡大が発生している。従来、背弧海盆のような拡大領域が付随するプレート収束帯の地殻は比較的高温で柔らかいと考えられており、そのような地域でのプレート間の固着は弱いと思われていた。そのため、プレート境界型巨大地震の可能性は極めて低いと考えられてきた。

同様のテクトニクスを持つ場所で発生した2004年スマトラ・アンダマン海地震や2011年東北地方太平洋沖地震の発生は、すべての沈み込み帯でM9クラスの超巨大地震が発生する可能性を検討する必要があることを示している。しかしながら、同じフィリピン海プレートの沈み込み帯である南海トラフ沿いでは、こうした検討が進みつつあるが、琉球海溝沿いでは地震観測資料や歴史史料がまだ乏しいため、長期的な地震発生評価自体がなされていなかった。[地震調査委員会:2012年2月9日公表資料]。そのため、地形学・地質学的調査研究を含めた早急な琉球弧における巨大地震の発生の可能性の検討が必要であった。

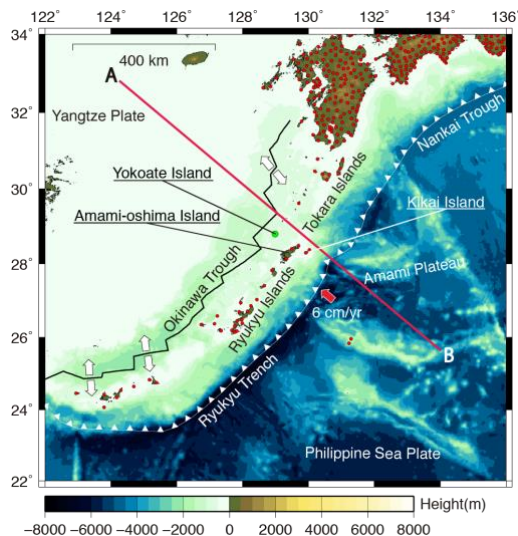


図1: 琉球弧のテクトニクスと海底地形。奄美海台の衝突により、海溝の屈曲と喜界島付近の隆起が起きている。

奄美大島・喜界島の東側の琉球海溝では、世界最大級の規模の奄美海台の衝突・潜り込みが進行している(図1)。この衝突・潜り込みは海溝軸を変形させると共に、背後の地殻を高速隆起させる。そして、この地殻の高速隆起が琉球列島の並びより数十 km 海溝側で喜界島を作ったとされる。喜界島は約12万年前に形成された海岸段丘面が現在約200mの標高まで隆起しており、これ以降の漸新世および完新世段丘も島を取り囲むように発達している。こうした海岸段丘面から推定される喜界島付近の隆起速度は、室戸半島の隆起速度

などと同等の大きさを持っており、強いプレート間の固着の存在を示唆している。さらに、この顕著な完新世段丘は、大規模隆起イベントが1000年オーダーの間隔で繰り返している事を示しており、(超)巨大地震の可能性をも示唆している。これらを裏付けるように、奄美大島近海で1911年にM8.0の地震が発生しており、それ以降M8クラスの地震は琉球弧では確認されていないが地震活動は活発である。

### 2. 研究の目的

琉球海溝では利用できるデータが少なく、巨大地震の長期評価は実施されていない。しかしながら、琉球弧北部の奄美大島沖の海溝では、フィリピン海プレートの沈み込みに伴い世界最大級の奄美海台の衝突・潜り込みが起きており、プレート境界の強い固着が想定される。従来、琉球弧ではプレート境界型の巨大地震が起きにくいと考えられてきたが、こうした海台の衝突は巨大地震を起こす原因となりうる。よって、本研究では喜界島を中心にして地質学的・測地学的・地震学的・地形学的調査を総合的に実施することで、琉球弧北部で発生している巨大海台衝突現象の理解および巨大地震発生のポテンシャルを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では(1)ボーリング等によりサンゴ化石資料を採取し、そのサンゴの生息深度と年代測定を実施し、過去10万年間の隆起速度を明らかにする。(2)喜界島-横当島測線におけるGPS観測と喜界島横断測線における精密水準測量の繰り返し測量を実施しプレート間の固着を推定し、これらのモデル化を実施する。(3)喜界島での完新世段丘の微細地形地図を作成し、地殻の隆起速度を高分解能で調べることで、中規模イベントの履歴も明らかにする。以上の結果を総合して、奄美海台衝突に伴うプレート境界での応力蓄積と解放の時系列を明らかにし、将来の海溝型巨大地震の可能性を検討する。

#### (1) サンゴ化石によるイベントの年代特定

喜界島の隆起運動が1000年オーダーの間隔で発生する間欠的隆起だけでなく後で述べるような定常的な運動も併存している可能性が高い。よって、海岸段丘に残されているサンゴ化石から長期間にわたる間欠的隆起と定常的な隆起の分離を試みる。

主に完新世サンゴ礁を対象に露頭観察及びボーリング調査を行い、サンゴ群集解析および年代測定から過去の生息深度と年代を決める。特に隆起量を精度良く決めるために最新の海岸段丘面(IV面)の末端部およびその先の海面下(浅部)の領域から、生息深度の幅が狭いサンゴ種(化石を含む)を採取し、これらの空間分布や産状そして年代などから最近1000年間の隆起過程を明らかにする。年代決

定では、特に重要である保存状態の良い資料採取を行い、TIMS ウラン系列法により年代決定を行う。

#### (2) 測地学的手法に基づくモデル化

GNSS 観測と水準測量を実施することで、横当島・喜界島測線における地殻変動分布と喜界島の傾動速度を明らかにする。喜界島の背後には奄美大島、さらに背後には横当島(無人島)があり、九州近傍を除けば琉球弧で唯一海溝に垂直な方向で約 110km の測線を作ることができる場所である(図 1)。すでに、喜界島と奄美大島には GNSS 連続観測点(GEONET)が設置されているため、本研究では横当島に GNSS 観測点を新設し、喜界島と奄美大島においても観測を補強するために複数の GNSS 観測点を新設する。なお、横当島は無人島であるため、備船にて渡航する。一方、喜界島の段丘高度は海溝側が高くなっており、地殻変動に傾動成分が含まれている。平均的な傾動速度は島の両端の高度変化にして 1mm/年程度の大きさである。しかし、この傾動速度には地震による地殻変動の影響が含まれており、地震時と地震間の地殻変動成分の分離が出来ない。そのため、地震間の傾動の影響を見積もるために、喜界島を周回する測線で水準測量を実施し、過去の測量と比較して喜界島の傾動運動を検出する。

上記の測量結果を元に、プレート間の固着を推定及びモデル化をおこなう。海台が衝突する特殊な領域では、単純なバックスリップモデルを適用する事ができない。そのため、バックスリップモデルで代表されるようなプレート間相互作用だけでなく、衝突率も含めて推定する手法とモデルを開発する。具体的にはプレート境界面上の固着だけでなく、プレート境界面に対して垂直に作用する力源を同時に推定する事で、衝突をモデル化する。

#### (3) 小規模隆起イベントの同定

喜界島北部の志戸桶地区の海岸には明瞭な完新世の 4 段の海岸段丘があり、各段丘面の幅も広い(最新 3 段全体で約 300m)。この段丘面の標高を稠密かつ精密に測定することで、1000 年オーダーの間隔を持つ隆起イベントの間で発生した隆起運動や定常的な隆起の可能性を精査する。喜界島の完新世段丘面はサンゴ礁化石からなる地層の浸食面で構成され、その表面は風化や溶食などにより数十 cm 規模の凸凹の多い粗い面になっている。そのため、小さな変動に起因する段差があったとしても目視で認識することは難しい。そこで段丘面の微地形地図を作製し、データ処理により微地形に隠された小隆起地形などの検出を試みる。微地形地図の作製には、ドローンをもちいた測量を実施する。得られた微地形データから海岸に直交する方向の多数の測線で標高変化の曲線(地形の断面図)を求め、その全測線データ加算処理を行うことで数 cm 程度の標高差のある微少段丘の検出を行う。こ

の手法が実際の微地形に応用できるかどうかの妥当性と有効性について検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) サンゴ化石によるイベントの年代特定

喜界島北東部と南西部における更新世段丘の比較による島の傾動運動を検討した。その結果、予察的な結果と大きな違いはなく、分布高度が南西部で標高 50m、北東部で標高 20m と古水深を考慮しても過去 5 万年間で、約 20m の差を生じる傾動運動が起きたと見積もった。また、不連続に分布する完新世最高位段丘について離水年代が約 7000 年前と見積もられていた中で、島南部の 1 地点のみで 6300 年前の離水イベントが報告されている(Sugihara et al. 2003)。これに対して、先に行ったボーリング掘削調査により礁嶺および礁池相から構成されることが明らかになった島西部のサンゴ礁段丘について、礁嶺相に比べて新しい年代が期待された礁池相だが、礁嶺相(約 7000 年前)と年代差が見られなかった。また、島北端で発見した最高位段丘に対比される海浜礫層中のサンゴ礫の年代が約 6000 年前と見積もられた。全体像はまだ不明であるが、6300 年前の離水イベントに関係する堆積物の可能性が示された。

##### (2) 測地学的手法に基づくモデル化

2013 年 10 月から横当島(ykat)においてオフライン GNSS 観測および、GEONET から得られた地殻変動速度場は沖縄トラフ拡大の影響を受けて南西諸島が南西方向に変位している。GEONET と ykat での GNSS 測量の結果、横当島と奄美大島は  $5 \times 10^{-8}$  程度の短縮が観測された。一方、上下方向の地殻変動は奄美大島近海は全般に隆起が観測されており、琉球海溝側(喜界島)の方が大きな隆起が観測されている。2014 年に喜界島内の水準測量を実施し、1997 年の水準測量結果の比較から、海溝側が沈降している結果が得られた。このことから、最大の沈降場所は喜界島と奄美大島の間にあることが分かった。

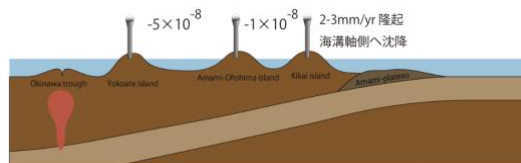


図 2: 測量によって得られた変動場のまとめ

測地学的に観測されている地殻変動を地震間の変動だとみなし、地震間のすべり遅れ速度を MCMC 法により推定した。海溝軸に近い領域は不確実性が大きいものの、約 40km よりも深い領域では 0.5cm/yr 程度の弱い固着が推定された。長期的な変動として、喜界島は約 12 万年間定常的に 2mm/yr 程度で隆起をしている。これらは奄美海台の衝突の影響を考慮する必要がある。よって、プレート形状も含

めた検討が必要になり、2次元有限要素法によりこの地域（図1中のA-B側線）をモデル化した（図3・図4・表1）。

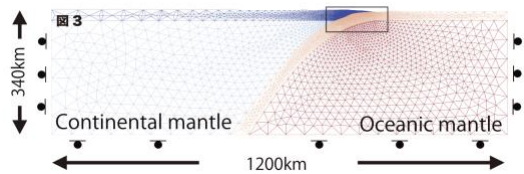


図3：図1中のA-B側線に沿った断面図の有限要素法によるモデル。

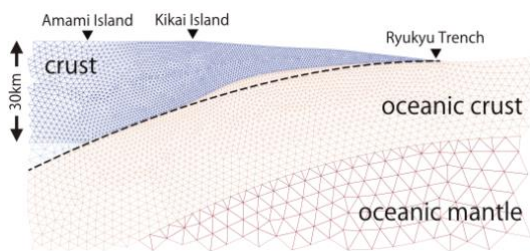


図4：図2中の四角を拡大した有限要素モデル。破線はプレート境界を滑らかに内挿したプレート境界モデル。

領域	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (km/s)	Vp (km/s)	粘性率 (Pa·s)
地殻	2.7	3.2	5.8	∞
海洋地殻	3.3	4.5	8.1	∞
マントル	4.0	5.6	10.0	1×10 <sup>19-20</sup>

表1：構造モデルのパラメータ。

喜界島では海岸段丘に過去の巨大地震の痕跡が残されており、生成年代が推定されている。海岸段丘が巨大地震によって生成されたとすると、1000年～2000年の間隔で1mから2mの隆起が生じている。地震時に隆起し、地震間にも隆起していることから、奄美海台の影響を考慮した地震発生サイクルを構築する必要がある。地震発生サイクルは地震間と地震時の2つのフェーズを導入し、海岸段丘の記録に基づき地震を発生させる。地震間のすべり遅れ速度は測地学的に推定した値を用いた。測地学的に推定されたすべり遅れ速度と海岸段丘の生成年代 およびプレートの沈み込み速度から、過去8000年に発生した4回の地震発生サイクルをモデルによって表現し、過去の地殻変動の履歴を再現した(図5・6)。

本解析の結果、地震サイクルの最終段階においては、地震時に隆起する場所でも地震間でも隆起の地殻変動を再現することが可能であることを示している。長期的な隆起傾向を説明しつつ、地震発生直後には、沈降場を形成し、その後、粘弾性応答によって、再び隆起に転じている。地震サイクルを通して、一定の上下変動速度を保っているのではなく、時

間的に上下変動速度が大きく変化していることを意味する。モデルによって再現された地殻変動履歴を先行研究結果と比較した結果、大まかに海岸段丘の変遷を説明できることがわかった。さらに、海岸段丘とモデル化により、上部マントルの粘性率などのレオロジーモデルも推定できる可能性があることが示唆される。

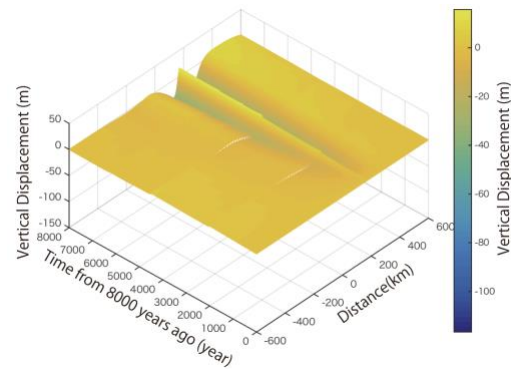


図5：有限要素法により再現されたモデル全体の過去8000年の上下変動の時空間変動。

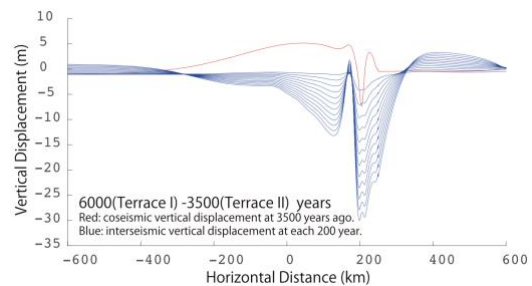


図6：有限要素法により再現された過去6000年から3500年(Terrace IからTerrace II)の間の上下地殻変動履歴。青線は200年毎の上下地殻変動のスナップショット。赤線は地震時の上下地殻変動。解析に用いた粘性率は1.0x10<sup>20</sup>Pa·sである。

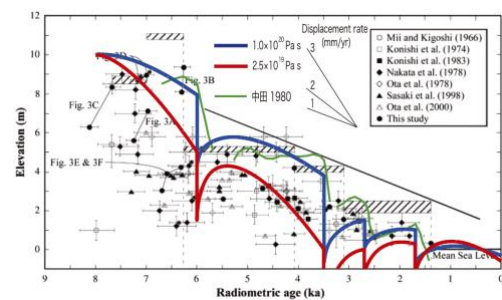


図7：Sugihara et al., 2003による喜界島における海岸段丘の生成年代の結果に有限要素法によって再現された海岸段丘の生成年代を加筆した図。緑線は中田(1980)の海岸段丘の生成年代結果。青線と赤線はそれぞれ異なるマントルの粘性率を仮定している。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4 件)

1. Takeo Ito, Muneyoshi Furumoto, Kenjiro Matsuhira, Takashi Okuda, Takeshi Sagiya, Shinichiro Horikawa, Kazuya Ito, Time evolution of vertical displacement during Holocene: case of Kikai Island, Ryukyu Islands, Japan, AGU 2016 Fall Meeting, 2016
2. 伊藤武男, 古本宗充, 奥田隆, 松廣健二郎, 大間俊樹, 有限要素法による喜界島の高速隆起の再現とドローンによる微小海岸段丘の調査, 日本地震学会秋季大会, 2015年
3. 伊藤武男, 古本宗充, 鷺谷威, 堀川信一郎, 奥田隆, 松廣健二郎, 野村晋一, 横井大輝, 大間俊樹, 伊藤和也, 喜界島周辺の地殻変動, 日本地球惑星科学連合大会, 2015年
4. Takeo Ito, Muneyoshi Furumoto, Simulate high-speed uplift history at Kikai-Jima due to collision of Amami plateau, The 2nd Japan-Taiwan Workshop on Crustal Dynamics, 2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古本宗充 (FURUMOTO, Muneyoshi)  
名古屋大学・環境学研究科・名誉教授  
研究者番号: 80109264

### (2) 研究分担者

佐々木圭一 (SASAKI, Keiichi)  
金沢学院大学・基礎教育機構・准教授  
研究者番号: 50340021

鷺谷威 (SAGIYA, Takeshi)  
名古屋大学・減災連携研究センター・教授  
研究者番号: 50362299

伊藤武男 (ITO, Takeo)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号: 40377982

寺川寿子 (TERAKAWA, Toshiko)  
名古屋大学・環境学研究科・講師  
研究者番号: 30451826